

BIOQUIMICA DEL EJERCICIO

Prof. Edgar Lopategui Corsino
M.A., Fisiología del Ejercicio

I. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

A. Definiciones

1. Bioenergética:

Estudio de las transformaciones energéticas en los sistemas vivos.

2. Termodinámica:

El campo de las ciencias físicas que estudia los intercambios de energía entre conjuntos de materia.

3. Bioquímica:

Los principios y patrones moleculares que contribuyen al movimiento y fenómeno metabólico.

4. Metabolismo:

Suma total de los procesos químicos envueltos en la liberación y utilización de energía dentro de la célula viviente.

5. Catabolismo:

- a. Reacciones químicas degradativas o catabólicas.
- b. Procesos de degradación o rompimiento.
- c. Envuelve el rompimiento de moléculas más grandes en moléculas pequeñas.
- d. Aquellas reacciones o procesos que originan la fragmentación de una molécula en partes cada vez más pequeñas.

- e. Los enlaces químicos se rompen y se libera consecuentemente energía útil dirigida para encauzar otras reacciones (procesos biológicos vitales del cuerpo) que necesitan energía para poder funcionar.
- f. Procesos de descomposición en el que las moléculas alimenticias relativamente grandes se desdoblan para producir moléculas más pequeñas y energía.

6. Anabolismo:

- a. Reacciones químicas sintéticas o anabólicas.
- b. Procesos de síntesis o formación/construcción.
- c. Consiste de la unión de pequeñas moléculas para formar moléculas más grandes.
- d. Aquellas reacciones que reúnen los pequeños fragmentos moleculares para formar moléculas mayores.
- e. Procesos de síntesis que recurre a energía para elaborar moléculas mayores a partir de moléculas relativamente pequeñas (e.g., enzimas, hormonas, anticuerpos, entre otras).

7. Enlaces químicos:

Representan la energía potencial que mantiene los átomos juntos en una molécula.

8. Sustratos:

Las moléculas sobre las cuales actúan las enzimas.

9. Macromoléculas:

Compuestos relacionados con las reacciones metabólicas (carbohidratos, lípidos y proteínas).

10. Vías metabólicas:

a. Definición:

Secuencias específicas de reacciones.

b. Procesos metabólicos:

1) Objetivos:

- a) Crecimiento.
- b) Mantenimiento.
- c) Reparación.

II. ENERGIA

A. Concepto

Capacidad para efectuar trabajo.

B. Formas de Energía

1. Energía potencial:

- a. Energía almacenada dentro de un sistema.
- b. Aquella que es capaz de realizar trabajo.

2. Energía cinética:

- a. Forma activa de la energía.
- b. Energía en el proceso/acción de realización de trabajo.

3. Energía química:

- a. Aquella energía almacenada en las moléculas químicas.
- b. Ejemplo:

La célula muscular.

III. TRANSFORMACIONES BIOLOGICAS DE LA ENERGIA

A. Concepto General

Flujo de energía dentro de las células.

B. Termodinámica

1. Primera ley de termodinámica (ley de la conservación de energía):

La energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma de una forma a otra.

2. Segunda ley de termodinámica:

- a. Postula que como resultado de las transformaciones/conversiones de la energía, el universo y sus componentes (i.e., los sistemas vivos) se encuentran en un alto estado de alteración/disturbio (llamado *entropía*).

1) Implicación:

Los cambios energéticos en los sistemas vivos tienden a ir desde un estado alto de energía libre a un estado bajo de energía.

C. Reacciones Químicas Celulares

1. Función/objetivo:

Transforma la energía de las sustancias nutritivas a una forma biológicamente utilizable.

2. Reacciones endergónicas:

- a. Aquellas reacciones que requieren que se le añada energía a los reactivos (sustratos o combustibles metabólicos).
- b. Se le suma energía (contiene más energía libre que los reactivos originales).
- c. Estas reacciones se manifiestan en los procesos anabólicos.

3. Reacciones exergónicas:

- a. Aquellas reacciones que liberan energía como resultado de los procesos químicos.
- b. Se libera energía.
- c. Estas reacciones se manifiestan en los procesos catabólicos del metabolismo celular.

d. Resultados/efectos de las reacciones exergónicas:

1) Energía libre:

- a) Energía en un estado organizado.
- b) Disponible para trabajo biológico útil (e.g., contracción muscular, transmisión nerviosa, secreción de hormonas, etc.).
- c) También se encuentra disponible para encausar las reacciones endergónicas.

2) Productos:

- a) Sirven de precursores para resintetizar los reactivos (junto con la energía libre) mediante las reacciones endergónicas.

e. Enlaces de alta energía:

- 1) Enlaces químicos que poseen cantidades relativamente grandes de energía.
- 2) Estos enlaces químicos se encuentran en los reactivos.
- 3) El rompimiento de uno o más de estos enlaces resulta en una reacción exergónica:
 - a) Liberación de energía libre biológicamente útil.
 - b) Productos.

4. Reacciones acopladas:

- a. Reacciones asociadas, en la cual la energía libre de una reacción (exergónica) es utilizada para conducir/dirigir una segunda reacción (endergónica).
- b. Reacciones liberadoras de energía *acopladas* a reacciones que requieren energía.

5. Enzimas:

a. Descripción:

- 1) Catalizadores biológicos.
- 2) Aceleran reacciones bioquímicas.

- 3) Dirigen y seleccionan vías metabólicas.
- 4) No cambian la naturaleza de la reacción ni su resultado.
- 5) No sufren ningún cambio en general.
- 6) Son proteínas.

b. Ejemplos:

1) Poseen el sufijo "asa":

a) Quinasa:

Le añade fosfatos a los sustratos con los cuales reaccionan.

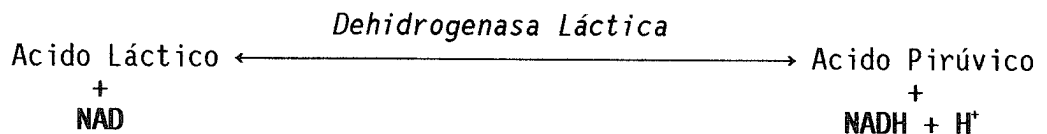
b) Dehidrogenasa:

Remueve/elimina los hidrógenos de sus sustratos.

2) Dehidrogenasa láctica:

a) Función:

Cataliza la conversión del ácido láctico a ácido pirúvico y viceversa:



c. Determinantes:

- 1) Temperatura corporal.
- 2) pH (medición de la acidez) de una solución.

IV. LOS COMBUSTIBLES METABOLICOS PARA EL EJERCICIO

A. Los Carbohidratos

1. Estructura química:

Atomos de: **Carbono, Hidrógeno y Oxígeno (CHO).**

2. Función mas importante:

Provee energía: **4 kcal de energía por cada gramo de carbohidrato.**

3. Tipos/clasificación:

a. Monosacáridos (azúcares simples):

- 1) Glucosa (en la sangre).
- 2) Fructosa (frutas, miel de abeja).
- 3) Galactosa (glandulas mamarias).

b. Disacáridos (dos monosacáridos):

- 1) Sucrosa/sacarosa (caña de azucar).
- 2) Maltosa (digestión de los carbohidratos).
- 3) Lactosa (leche).

c. Polisacáridos (carbohidratos complejos).

- 1) Almidones (granos, tubérculos).
- 2) Celulosa (fibra).
- 3) Glucógeno (reserva de energía en los músculos e hígado) (véase Figura 1).

B. Las Grasas

1. Característica:

No son solubles en agua.

2. Función mas importante:

Provee energía: **9 kcal de energía por cada gramo de grasa.**

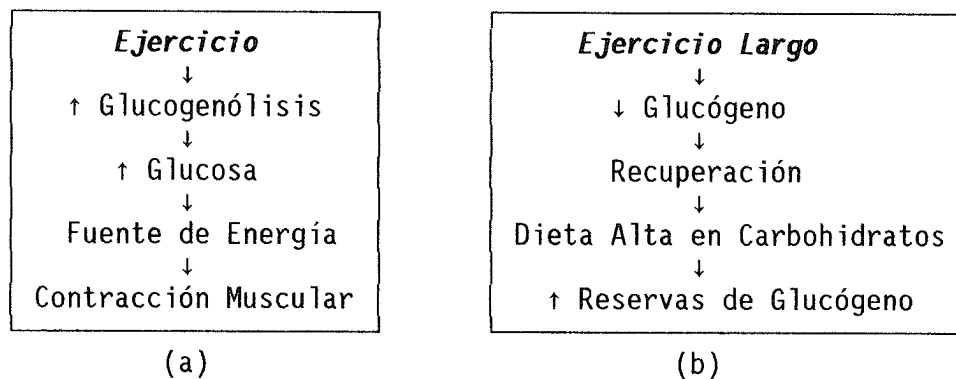


Figura 1

3. Tipos/clasificación:

a. Simples/neutras:

1) Triglicéridos:

- a) Estructura química: 3 moléculas de *ácidos grasos* + 1 molécula de *glicerol*.
- b) Concepto: Es la forma en que se almacena la grasa.
- c) Función como combustible metabólico:

Al degradarse en *glicerol* y *ácidos grasos libres* éstos podrán ser utilizados como sustratos de energía.

b. Compuestas:

- 1) Fosfolípidos (constituyente estructural de las membranas celulares).
- 2) Lipoproteínas (medio de transportar las grasas en la sangre):
 - a) Lipoproteínas de baja densidad (LDL, siglas en inglés) o colesterol malo.
 - b) Lipoproteínas de alta densidad (HDL, siglas en inglés) o colesterol bueno.

c. Derivadas (de las compuestas):

1) Colesterol:

- a) Estructura las membranas celulares.
- b) Síntesis de hormonas de sexo (estrógeno, progesterona y testosterona).
- c) Vinculado con las cardiopatías coronarias.

C. Las Proteínas

1. Estructura química:

- a. **Aminoácidos**: Subunidades de las proteínas.
- b. **Enlaces pépticos**: Uniones químicas que eslabonan los aminoácidos.

2. Funciones:

- a. Componente estructural de diversos tejidos, enzimas, proteínas sanguíneas, etc.
- b. Fuente potencial de energía: **4 kcal de energía por cada gramo de proteína.**

3. Tipos/clasificación:

a. Esenciales (9 aminoácidos):

No pueden ser sintetizados por el cuerpo (se obtienen de los alimentos).

b. No esenciales (11 aminoácidos):

Pueden ser sintetizados por el cuerpo (mediante los alimentos y aminoácidos esenciales).

4. Utilización de las proteínas como sustratos (combustible energético) durante el ejercicio:

a. Se degradan las proteínas en aminoácidos:

1) El aminoácido alanina puede ser convertido en glucógeno en el hígado:

Luego, el glucógeno se degrada en glucosa y se transporta hacia los músculos activos.

- 2) Muchos aminoácidos (i.e., *isoleucina*, *alanina*, *leucina*, *valina* y otros) pueden ser convertidos en intermediarios metabólicos (i.e., compuestos que directamente participan en la bioenergética) para las células musculares y directamente contribuir en la vías metabólicas.

V. FOSFATOS DE ALTA ENERGIA

A. Adenosina de Trifosfato (ATP)

1. Importancia/función:

Representa la fuente de energía inmediata para la contracción muscular.

2. Estructura:

- a. Una porción: **Adenina**
- b. Una porción: **Ribosa**
- c. Tres *Fosfatos* unidos vía *enlaces químicos de alta energía*.

3. Formación/síntesis:

Mediante la utilización de energía (reacción endergónica) un *fosfato inorgánico (Pi)* libre se une a una molécula de *adenosina de difosfato (ADP)* para poder formar una molécula de *adenosina de trifosfato (ATP)*. Esta reacción se puede expresar como: $Pi + ADP \rightarrow ATP$. (véase Figura 2)

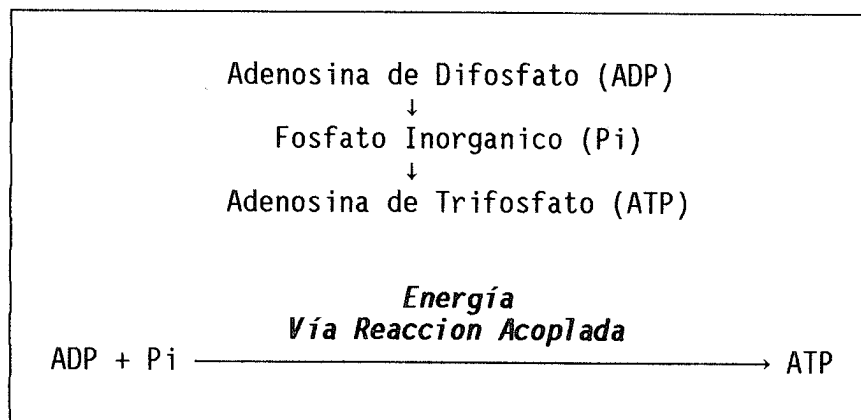
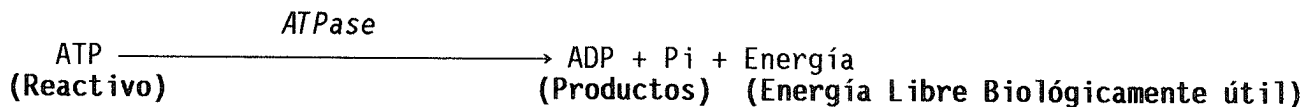


Figura 2

DESCRIPCION ESQUEMATICA DE UNA REACCION ENDERGONICA (QUE REQUIERE ENERGIA) MEDIANTE LA CUAL SE SINTETIZA UNA MOLECULA DE ATP

4. Mecanismo por el cual libera energía (reacción exergónica):

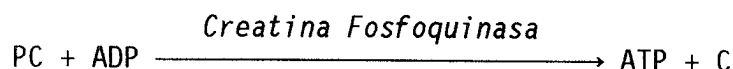
La enzima ATPase degrada el enlace químico que almacena energía entre ADP y Pi, lo cual resulta en la liberación de energía útil para generar trabajo (i.e., contracción muscular).



VI. PRODUCCION ANAEROBICA DE ATP

A. El Sistema de ATP-PC (Fosfágeno)

Envuelve la donación de un fosfato (Pi) y su enlace de energía por parte de la fosfocreatina (PC) a la molécula de ADP para formar ATP:



En última instancia, el ATP refosforila la creatina para así formar PC.

B. Glucólisis Anaeróbica

1. Descripción general:

Envuelve la degradación de glucosa o glucógeno para formar dos moléculas de ácido pirúvico o ácido láctico (este último producto se forma en la ausencia de oxígeno). Mediante reacciones acopladas, la energía que produce esta vía metabólica va dirigida a restaurar el Pi a ADP para formar ATP. La ganancia neta de esta vía metabólica son dos moléculas de ATP y dos moléculas de ácido pirúvico o ácido láctico por cada molécula de glucosa que se degrada.

VII. PRODUCCION AEROBICA DE ATP

A. El Ciclo de Krebs (Ciclo del Acido Cítrico o Ciclo del Acido Tricarboxílico)

1. Descripción:

- a. Una serie cíclica de reacciones enzimáticamente catalizadas que se ejecutan mediante un sistema de multienzimas.

Tabla 1

RESUMEN DEL METABOLISMO

FENOMENO	COMENTARIO
Metabolismo de los Carbohidratos	
Catabolismo de la Glucosa	También se denomina respiración celular, y es la principal Fuente de energía para las células; la oxidación completa de la glucosa consiste en la glucólisis, el ciclo de Krebs y el transporte de electrones; el catabolismo completa de una molécula de glucosa resulta en la producción de 38 moléculas de ATP.
Glucólisis	Conversión de la Glucosa en ácido pirúvico; origina la producción de algunas moléculas de ATP, y las reacciones correspondientes no se requiere oxígeno (es decir, anaeróbicas).
Ciclo de Krebs	Conjunto de reacciones de oxidación-reducción, en las que coenzimas (NAD y FAD) se combinan con átomos de hidrógeno provenientes de ácidos oxidados y se sintetizan algunas moléculas de ATP. El CO ₂ y la H ₂ O son productos secundarios de estas reacciones, que son aeróbicas.
Sistema de Transporte de Electrones	Es otro conjunto de reacciones de oxidación-reducción, aeróbicas, en las que los electrones pasan de un citocromo a otro y en las que se produce la mayor parte del ATP.
Anabolismo de la Glucosa	Una parte de la glucosa se convierte en glucógeno (glucogénesis), que se almacena en caso no se lo requiera inmediatamente como fuente de energía; también puede tener lugar transformación del glucógeno en glucosa (glucogenólisis), si se necesita energía, mientras que la gluconeogénesis es la conversión de lípidos y proteínas en glucosa.
Metabolismo de los Lípidos	
Catabolismo	El Glicerol suele transformarse en glucosa (gluconeogénesis), y se catabolizan los ácidos grasos mediante la oxidación beta, que da origen a los cuerpos cetónicos (cetogénesis); el catabolismo de estos últimos tiene lugar en el ciclo de Krebs.
Anabolismo	La lipogénesis es la síntesis de lípidos a partir de glucosa y aminoácidos; el almacenamiento de lípidos se efectúa en el tejido adiposo.
Metabolismo de las Proteínas	
Catabolismo	El resultado de este fenómeno es la producción de aminoácidos, y el catabolismo de los mismos de origen a amoníaco y urea, que se excretan en la orina.
Anabolismo	La síntesis de proteínas está regulada por el DNA, y en ella participan el RNA y los ribosomas de las células.

Fuente: Tortola, Gerard J. y Nicholas P. Anagnostakos. *Principios de Anatomía y Fisiología*. 3ra. ed.; México: Harper & Row Latinoamericana, 1984. p. 797

b. Oxida el grupo acetil de la acetil coenzima A (acetil-CoA):

El piruvato (tres moléculas de carbono) se degrada para formar acetil-CoA (molécula de tres carbonos). Luego el acetil-CoA se combina con el ácido oxaloacético (molécula de cuatro carbonos) para formar ácido cítrico (seis carbonos). Esto continúa con una serie de seis reacciones para regenerar el ácido oxaloacético y dos moléculas de CO_2 , y la vía inicia todo de nuevo.

2. Lugar donde ocurren las reacciones bioquímicas del ciclo de Krebs:

Dentro de la mitocondria.

3. Resumen:

- a. El ciclo de Krebs es la vía metabólica final para la oxidación de los sustratos (combustibles metabólicos), i.e., los carbohidratos, grasas (beta oxidación, los ácidos grasos pasan por una serie de reacciones para formar acetil-CoA) y proteínas (su contribución energética fluctúa entre 5% a 15% del combustible utilizado durante el ejercicio). Los combustibles metabólicos entran en el ciclo de Krebs en la forma de acetil-CoA.

B. La Cadena del Transporte Electrónico y la Fosforilación Oxidativa:

1. Descripción:

- a. La cadena del transporte electrónico (o cadena respiratoria) es responsable de la fosforilación oxidativa (la producción aeróbica del ATP dentro de la mitocondria).
- b. La cadena del transporte electrónico es la vía metabólica final común en las células aeróbicas mediante la cual los electrones derivados de los diferentes sustratos son transferidos hacia el oxígeno.
- c. El sistema de transporte electrónico es una serie de reacciones de oxidación-reducción realizadas por unas enzimas altamente organizadas.
- d. La fosforilación oxidativa es el proceso mediante el cual se forma ATP en la forma de electrones y luego son transferidos hacia el oxígeno mediante una serie de transportadores de electrones.

2. Localización de la cadena del transporte electrónico:

La mitocondria.

3. Al final de la cadena del transporte electrónico:

El oxígeno acepta los electrones que van pasando y se combina con hidrógeno para formar agua.

C. Contabilidad Total de la Producción Aeróbica del ATP

1. Cuando una molécula de glucosa o glucógeno se degrada mediante las vías aeróbicas produce un total de:

a. 38 moléculas de ATP (degradación aeróbica de la *glucosa*).

b. 39 moléculas de ATP (degradación aeróbica del *glucógeno*):

La producción glucolítica neta del ATP por el glucógeno es una molécula de ATP adicional en comparación con la glucosa.

VIII. REFERENCIAS

1. Giese, A.C. *Fisiología Celular y General*. 5ta. ed.; México: Nueva Editorial Interamericana S.A. de C.V., 1983. pp. 154-166, 232-244, 293-318, 579-581, 584-586.
2. Lamb, David R. *Fisiología del Ejercicio: Respuestas y Adaptaciones*. Madrid, España: Editorial Augusto E. Pila Teleña, 1978. pp. 406.
3. Parker Anthony, Catherine y Gary A. Thibodeau. *Anatomía y Fisiología*. 10ma. ed.; México: Nueva Editorial Interamericana, 1984. 724 págs.
4. Powers, Scott K. y Edward T. Howley. *Exercise Physiology: Theory and Applications*. 2da. ed.; Dubuque, I.A.: Wm. C. Brown Publishers, 1994. pp. 25-50.
5. Sheeler, Phillip y Donald E. Bianchi. *Cell Biology: Structure, Biochemistry, and Function*. New York: John Wiley & Sons, 1980. pp. 188-224, 331-364.
6. Scheve, Larry, *Elements of Biochemistry*. Boston: Allyn and Bacon, Inc., 1984. pp. 135-148.
7. Strand, Fleur L. *Fisiología Humana: Un Enfoque Hacia los Mecanismos Reguladores*. México: Editorial Interamericana, 1982. pp. 75-81.
8. Stryer, Lubert. *Biochemistry*. 2da. ed.; New York: W.H. Freeman and Company., 1981. pp. 235-430, 539-556.
10. Tortola, Gerard J. y Nicholas P. Anagnostakos. *Principios de Anatomía y Fisiología*. 3ra. ed.; México: Harper & Row Latinoamericana, 1984. pp. 1034.